XV.

Beiträge zur Kenntniss des indirecten Sehens.

II.

Ueber das Verhalten der Nachbilder auf den peripherischen Theilen der Netzhaut.

Von

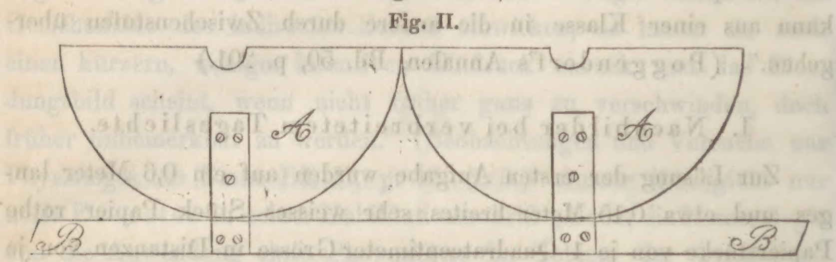
Hermann Aubert in Breslau.

Erster Theil.

Die Verschiedenheiten in dem Bau der Netzhaut, welche die verschiedenen Regionen derselben darbieten, können für die Physiologie erst ein Interesse gewinnen, wenn sich Differenzen in der Function der einzelnen Gegenden zeigen, woraus man auf die Bedeutung der verschiedenen Schichten der Netzhaut schliessen kann. Die Untersuchungen über den blinden Fleck haben überraschende Aufschlüsse für die Function der Nervenfaserschicht, die Müller'schen Beobachtungen der Purkyne'schen Aderfigur und ihrer Bewegung, so wie die Weber'schen Untersuchungen über den Raumsinn der Netzhaut haben wichtige Ergebnisse in Betreff der Stäbchen und Zapfen geliefert. Es dürfte nach diesen Resultaten wohl eine jede Vergleichung der centralen und peripherischen Netzhautregionen auf beliebige Functionen gerechtfertigt oder vielmehr gefordert sein, so lange die Bedeutung der übrigen Netzhautschichten unbekannt ist. Die

stellt den Apparat schräg vom Fenster her gesehen vor. *A* ist die Holzscheibe, *B*, *B* der Papierstreifen mit den Quadraten. Unmittelbar daneben wurde eine eben solche Vorrichtung aufgestellt und befestigt, nur befand sich auf dieser statt der Quadrate ein schwarzer Sammetstreifen von 0,6 M. Länge und 0,15 M. Breite.

Fig. II.



zeigt die Aufstellung und Befestigung der beiden Holzscheiben *A* mit den halben Hohlcylindern an dem Tische *B*.

Bei den Versuchen wurde das Gesicht so auf den Ausschnitt der Holzscheibe aufgelegt, dass sich das rechte Auge in dem idealen Mittelpunkte des Halbkreises der farbigen Quadrate befand, und das mittelste Quadrat ruhig fixirt. Während das Auge auf dasselbe gerichtet war, entstanden auch von den übrigen Quadraten Bilder, respective Nachbilder, auf den peripherischen Netzhauttheilen. Durch das Ticken einer Uhr wurde die Zeit des Fixirens und des Einwirkens der Farben auf die Netzhaut bestimmt. Dann wurde das Auge geschlossen und mässig schnell auf den zweiten Apparat in die Mitte der Axe des Sammetstreifens gebracht, wieder geöffnet, und ein weisser Punkt, dem vorher fixirten Punkte in seiner Lage entsprechend, wieder ruhig fixirt. Während des Aufmerkens auf die Erscheinungen der Nachbilder wurden die Schläge der Uhr gezählt und wenn binnen $1/4$ bis $1/2$ Minute kein Nachbild mehr erschien, die Beobachtung abgebrochen und die Resultate notirt. Die Uhr hatte 72 Doppelschläge in der Minute. Die Zeit eines Doppelschlages betrug also $5/6$ Sekunden; wir wollen dieselbe mit t bezeichnen: $t = 5/6''$. Zwischen den einzelnen Beobachtungen verstrichen wenigstens immer 5 Minuten, um das Auge in integrum zu versetzen, gewöhnlich aber 10—15 Minuten.

Die Versuche wurden nur bei hellem Himmel in den Vormittagsstunden zwischen 9 und 1 Uhr in einem hellen gegen Norden gelegenen Zimmer angestellt. Ausserdem wurden die Beobachtungen so modificirt, dass das mittelste fixirte Quadrat, oder die 3, 5 oder 7 mittelsten Quadrate mit einem weissen Papier bedeckt wurden, und auf einen dem sonst fixirten Punkte gleichliegenden das Auge gerichtet.

Das linke Auge wurde geschlossen und seine Wimpern angedrückt und dadurch festgehalten. Das beobachtende Auge wurde ganz ruhig gehalten, beim Fixiren die Accommodation nicht geändert und jede Bewegung der Augenlieder sorglichst vermieden, so weit es möglich war. (Siehe darüber unten unter N⁰. 4.)

Ich bemerke, dass ich bei dieser und den früheren Beobachtungsreihen über das indirecte Sehen der Magendie'schen Methode in physiologischen Untersuchungen gefolgt bin: le travail étant fait, je consultais les auteurs etc. Für die Unbefangenheit des Beobachters ist diese Art und Weise gewiss äusserst vortheilhaft und daher bei subjectiven Beobachtungen gewiss der entgegengesetzten vorzuziehen.

Ich führe zur Probe eine Beobachtung, wie sie im Protocoll notirt wurde, an. Die Angaben aussen und innen sind auf die Retina zu beziehen.

N⁰. 60. Rothe Quadrate. Das mittelste Quadrat (1) am innern Rande fixirt 36 t. (t = $^5/_6$''). 1 erscheint von Anfang an (im grünen Nachbilde). Bis 6 t sind sämmtliche Nachbilder da und bleiben bis 16 t. Um 16 t verschwindet 2 *a* (das zweite Quadrat nach aussen), dann um 18 t 3 *i* (das dritte Quadrat nach innen), dann bis 20 t die übrigen. Darauf erscheint bei 26 t zuerst 3 *a* wieder, dann die übrigen; bleiben bis 35 t. Darauf verschwinden sie bis auf 3 *a*, welches bis 40 t bleibt. Bei 60 t erscheinen nur noch einzelne Quadrate unregelmässig, so dass ich es nicht behalten habe, später nur noch unbestimmt begrenzte grüne Flecke. — 10 Minuten Pause. —

In dieser Weise wurden 72 Versuche, unmittelbar nach dem Aufhören des Versuchs, notirt, nachdem ich durch Vorversuche im Fixiren, ruhigen Halten des Auges, der Augenlieder und des ganzen Körpers u. s. w. gehörig geschult war.

Folgende Resultate haben sich mir aus diesen Beobachtungen ergeben:

1) Die peripherischen Nachbilder erscheinen in derselben Farbe, wie die centralen. Auf allen Theilen der Netzhaut erzeugte das blaue Papier ein lebhaftes Orange, das Roth ein sehr schönes, wenn auch etwas helles Grün, das Schwarz ein farbloses Weiss oder eigentlich Grau. Namentlich bei dem Schliessen des Auges unmittelbar nach der Einwirkung der Objecte erschienen die Nachbilder bis zur äussersten Peripherie hin sehr lebhaft und, wie bemerkt, immer complementär gefärbt, oder als negative Nachbilder im Plateau'schen Sinne (s. Brücke in Poggendorf's Ann. Bd. 84, p. 436). Ein gleichnamiges oder positives Nachbild habe ich bei diesen Beobachtungen nie bemerkt.

Es zeigt sich daher eine interessante Verschiedenheit dieser Untersuchungen, wo der primäre Eindruck lange dauerte, gegenüber Erfahrungen, die Foerster und mir bei unsern gemeinschaftlichen Untersuchungen über den Raumsinn der Netzhaut (Graefe's Archiv Bd. III, Heft 2, p. 3), wo wir den elektrischen Funken zur Beleuchtung anwendeten, auffielen. Waren nämlich die mit schwarzen Ziffern bedruckten weissen Papierbogen unserm Auge sehr nahe, so hatten wir einige Male unmittelbar nach dem Ueberspringen des Funkens ein nur sehr kurze Zeit dauerndes positives Nachbild, also im Nachbilde auch schwarze Ziffern auf weissem Grunde; dagegen war von einem complementären, negativen Nachbilde später keine Spur vorhanden (cf. Foerster Hemeralopie p. 31). Ich beabsichtige die Versuche mit dem elektrischen Funken an meiner Vorrichtung so bald als möglich zu wiederholen. Inzwischen stimmen meine Erfahrungen ganz mit den Fechner'schen überein: „Das Nachbild einer Farbe besteht anfangs noch mit der ursprünglichen Farbe im Auge fort und erst später geht diese in die complementäre über.... Bei Farben, welche in verbreitetem Tageslichte betrachtet werden, geht die erste Abtheilung zu schnell vorüber, um in die Wahrnehmung zu fallen u. s. w." (Poggendorf's Annalen, Bd. 50, p. 209).

Wurde das geschlossene Auge darauf dem schwarzen Sammet gegenüber geöffnet und auf diesem das Nachbild erzeugt, so war die Färbung desselben viel weniger lebhaft, selbst, wenn es die grösste Intensität seiner Färbung erreicht hatte. Dies kann erstens davon herrühren, dass der schwarze Sammet immer noch viel Licht reflectirt, während bei geschlossenen Augen fast kein objectives Licht die Retina trifft (s. Fechner, Poggendorf's Ann. Bd. 44, p. 514). Zweitens nimmt die Intensität des Nachbildes mit der Zeit im Ganzen ab, während allerdings fortwährend relative Schwankungen in der Stärke der Färbung stattfinden. Das Orange wird allmälig Gelb und später ein sehr blasses Gelb, das Grün geht mehr in ein grünliches Grau und das Weissgrau in ein matteres Grau über. Je mehr Zeit also zwischen dem primären Eindrucke und dem Erscheinen des Nachbildes vergeht, um so weniger lebhaft wird die Farbe desselben sein.

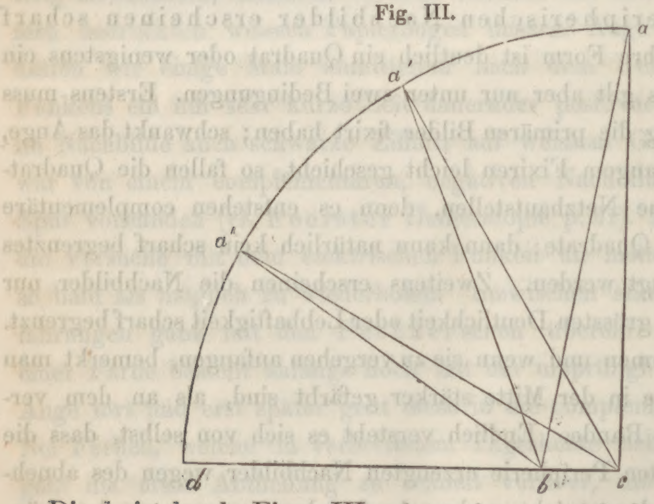
Ein solches Verblassen der Nachbilder fand ebensowohl im Centrum als an der Peripherie statt, nur ging es bei den peripherischen Nachbildern schneller, als bei den centralen, worüber unter N⁰. 4 das Nähere angegeben wird.

2) Die peripherischen Nachbilder erscheinen scharf begrenzt. Ihre Form ist deutlich ein Quadrat oder wenigstens ein Rechteck. Dies gilt aber nur unter zwei Bedingungen. Erstens muss man sehr ruhig die primären Bilder fixirt haben; schwankt das Auge, was bei sehr langem Fixiren leicht geschieht, so fallen die Quadratbilder auf neue Netzhautstellen, denn es entstehen complementäre Ränder um die Quadrate: dann kann natürlich kein scharf begrenztes Nachbild erzeugt werden. Zweitens erscheinen die Nachbilder nur zur Zeit ihrer grössten Deutlichkeit oder Lebhaftigkeit scharf begrenzt. Wenn sie kommen und wenn sie zu vergehen anfangen, bemerkt man nur Flecke, die in der Mitte stärker gefärbt sind, als an dem verschwimmenden Rande. Endlich versteht es sich von selbst, dass die an der äussersten Peripherie erzeugten Nachbilder wegen des abnehmenden Raumsinnes nicht mehr scharf wahrgenommen werden können, wenn ihre Grösse nur 1 Quadratcentimeter beträgt.

3) Je mehr peripherisch die Nachbilder liegen, um so weniger intensiv sind sie (Purkyne). Hat das seinen Grund in einer nach der Peripherie hin abnehmenden Fähigkeit der Retina, oder rührt es, wie Purkyne vermuthet, von dem Wesen des primären Eindrucks her? Hinsichtlich der letzteren Auffassung haben wir zwei Umstände zu berücksichtigen.

Erstens sind die Nachbilder weniger intensiv, wenn die Beleuchtung der Objecte schwächer gewesen ist. Auf den peripherischen Netzhauttheilen muss aber die Beleuchtung oder die von einem Punkte auf die Retina gelangende Lichtmenge geringer sein, als im Centrum, weil die Pupille als Diaphragma wirkt. Foerster hat bereits in seiner Schrift über die Hemeralopie p. 32 darauf aufmerksam gemacht, „dass die Bilder, welche auf die Seitentheile der Retina fallen, erheblich lichtschwächer sein müssen, als die im Centrum liegenden, da die Basis der Strahlenkegel, welche nach der Retina hin convergiren, eine viel grössere bei den letzteren ist. Die Grundflächen dieser Kegel verhalten sich wie die Sinus der Winkel, welche der einfallende Strahl mit der Pupillarebene macht, oder wie die Cosinus der Einfallswinkel."

Fig. III.



Die beistehende Figur III zeigt, wie man sich die Sache vorzustellen hat. Ist *dc* ein Diaphragma, *bc* die halbe Oeffnung in dem-

selben (also die Iris mit der halben Pupille), *ad* ein Viertelkreis, so wird, wenn a, a', a'' gleich stark leuchtende Punkte darstellen, der Axenwinkel des Lichtkegels um so kleiner werden, je kleiner der Winkel ist, den der leuchtende Punkt mit der Pupillarebene bildet, $a > a'$, $a' > a''$. Damit wird aber die Lichtstärke des Bildpunktes abnehmen müssen. Wäre das Verhältniss beim Auge eben so einfach, so würde sich leicht die Abnahme der Lichtstärke berechnen lassen. Die Verhältnisse sind aber schon bei einfachen Diaphragmen viel complicirter, und beim Auge werden sie es noch mehr.

Wenn die Oeffnung des Diaphragmas eine Kreisfläche ist, so bilden die Strahlenbüschel von seitlich gelegenen Punkten schiefe Kegel mit derselben Basis. Denkt man sich nun um die leuchtenden Punkte a, a', a'' Kugeln von demselben Radius, so werden sie die Kegel schneiden und diese Schnittfläche wird eine doppelt gekrümmte Curve sein. Dieser Theil der Kugeloberflächen, welcher von den Kegeln ausgeschnitten wird, ist das Maass für die durch die Oeffnung des Diaphragma gehende Lichtmenge, wenn die verschiedenen Punkte gleich stark leuchtend sind. Da man es indess hier mit sehr spitzen Kegeln zu thun hat, wegen der Kleinheit der Pupille im Verhältniss zur Entfernung der leuchtenden Punkte, so würde man statt der Curve Schnittflächen, senkrecht zur Axe des Kegels und für jeden Kegel gleichweit entfernt von der Spitze desselben, nehmen können, die dann Ellipsen wären. Die Flächenräume derselben sind dann den einfallenden Lichtmengen nahezu proportional.

Für das Auge kommt nun noch der Umstand in Betracht, dass die Strahlen, bevor sie durch die Pupille gehen, durch die planconvexe Linse, welche Cornea und Flüssigkeit der vordern Augenkammer zusammen bilden, eine Ablenkung erfahren, wodurch das oben erörterte Verhältniss geändert wird. Endlich kommt hinzu, dass, je schiefer Strahlen auffallen, um so mehr Licht reflectirt wird; es muss also um so weniger Licht durchgehen und zur Retina gelangen, je mehr Licht von der Cornea und vordern Linsenfläche zurückgeworfen wird; und damit ist also wieder ein Moment für die Verminderung der von seitlich gelegenen Punkten zur Retina gelangenden Licht-

menge gegeben. Auch hierauf hat bereits Foerster ebendaselbst p. 32 aufmerksam gemacht.

Die Formeln näher zu entwickeln und die Rechnung auszuführen, würde für unsere Aufgabe zu weit führen. Es geht aus der ganzen Betrachtung evident hervor, dass die Lichtstärke der Bildpunkte auf der Retina um so mehr abnehmen muss, je mehr dieselben vom Centrum der Retina entfernt sind.

Gleichwohl bemerken wir von einem Unterschiede der Lichtstärke auf den centralen und peripherischen Theilen der Retina nichts, wovon ich mich namentlich bei den hier mitgetheilten Versuchen überzeugt habe: der Papierstreifen mit den Quadraten erschien überall gleich hell. Hat das seinen Grund in einer besondern Fähigkeit der Retina, oder wirkt die Vorstellung hier corrigirend ein? Mir ist das erstere wahrscheinlicher und zwar deswegen.

Unsere Retina accommodirt sich bis zu einem sehr hohen Grade der Beleuchtung. Ist man Tage lang in einem stark verdunkelten Zimmer, so schätzt man es ebenso hell, als ein vielleicht zehnmal helleres Zimmer früher geschätzt wurde. Ich habe selbst ein frappantes Beispiel davon erlebt. Als ich in meinem 14. Jahre der Masern wegen über 8 Tage lang in einem so verfinsterten Zimmer sein musste, dass die Eintretenden darin wie im Finstern umhertappten, kam es mir nach einigen Tagen sehr hell vor und da mich die Langeweile sehr plagte, so griff ich nach einer ziemlich kleinen Landkarte mit feiner Schrift; ich konnte hier die Farben ganz gut sehen und die feine Schrift überall so gut lesen, wie sonst bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung. Ich holte mir auch Bücher in mein Bett, wurde aber nie damit ertappt, denn die Eintretenden sahen das Buch überhaupt nicht, auch wenn sie einige Minuten im Zimmer gewesen waren. Ich bemerke dabei, dass meine Augen durchaus nicht krankhaft afficirt waren. — Ohne Zweifel würden wir, wenn wir einige Jahre in halb so starker Beleuchtung gelebt hätten, als jetzt, alles eben so hell finden und eben so viel sehen können, als jetzt. In diesem Zustande müssen sich Zonen unserer Retina unter gewissen Breitegraden befinden. Sie haben von Anfang an immer nur halb

so viel Licht bekommen, als der gelbe Fleck, sie werden also von der halben Lichtmenge eben so stark afficirt werden, als das Centralloch von der ganzen. Denn da wir die Erregbarkeit unserer Sinnesnerven nicht direct mit einander vergleichen können, sondern nur die Resultanten aus der objectiven, activen Einwirkung und der Erregbarkeit, die Erregbarkeit aber bei lange fortgesetzter geringerer Erregung entsprechend zunimmt, so wird die Resultirende für den centralen Theil eben so gross sein, wie für den peripherischen, folglich werden uns die Gegenstände am Centrum der Retina eben so hell erscheinen müssen, als auf den peripherischen Regionen.

Nach dieser Auseinandersetzung wird man also nicht einen Einfluss der Vorstellung anzunehmen genöthigt sein, um es zu erklären, dass man die Objecte auf den peripherischen Theilen der Netzhaut eben so hell sieht, wie auf den centralen.

Durch diese ganze Betrachtung bekommen wir also keinen Aufschluss über den Grund, weshalb die peripherischen Nachbilder weniger intensiv sind, als die centralen. Dagegen wissen wir aus Purkyne's (a. a. O. p. 15) und meinen Untersuchungen (Graefe's Archiv III, 2, p. 38), dass wir farbige Flächen von gewisser Grösse mit den Seitentheilen der Netzhaut nicht so deutlich gefärbt sehen, als mit den centralen Theilen, ja dass bei einer bestimmten Grösse des farbigen Fleckes die Färbung gar nicht mehr wahrgenommen wird, und der Fleck nur hell oder dunkel erscheint. Ich habe daselbst p. 55 seq. zu zeigen gesucht, dass diese Erscheinung in dem Bau der Retina begründet ist. Wenn wir aber einen schwächeren primären Eindruck haben, so ist zu erwarten, dass auch das Nachbild weniger intensiv sein wird, und das erklärt wohl zur Genüge die geringere Intensität des Nachbildes auf den peripherischen Theilen der Netzhaut. In der That wurden die äussersten rothen Quadrate auf dem Papierstreifen schon nach einigen Secunden farblos und dunkel, und dieses Farbloswerden nahm bei weiterem Fixiren allmälig nach dem Centrum hin zu, so dass nach 1 Minute alle Quadrate, höchstens das fixirte ausgenommen, schwarz erschienen. Die Intensität der Nachbilder scheint übrigens ziemlich gleichmässig nach

der Peripherie hin abzunehmen, so dass die Bilder an der äussersten Peripherie sehr matt, viel lebhafter bei etwa 40° erscheinen. Am intensivsten ist aber immer das fixirte, direct gesehene Quadrat, gegen welches die zunächst daneben nach innen und aussen gelegenen schon sehr bemerkbar abstehen. Die nächsten, das 3. und 4. Quadrat (3*a*, 4*a*, 3*i*, 4*i*), zeigen keine grosse Differenz dagegen, aber das 5. und 6. (5*a*, 6*a*, 5*i*, 6*i*) sind schon bedeutend matter.

Eigenthümlich ist (was ich schon hier bemerken will und was für die unter 4 anzuführenden Beobachtungen wohl zu berücksichtigen ist) die Unbehülflichkeit oder Unfähigkeit, bei fixirter Retina die Quadrate zu zählen. Ich bin nie weiter als bis zum 5. Quadrate vom Centrum gekommen, wenn keine Quadrate verdeckt waren, und es gehört schon eine gewisse Willensenergie dazu, bei dem Bestreben, die Quadrate zu zählen, dem Auge keine Bewegungen zu gestatten. Wir zählen in der That immer so, dass wir unsere Augenaxen auf die zu zählenden Gegenstände nach einander richten und so eigentlich jede Bewegung zählen, während wir die andere Methode zu zählen, d. h. die Menge der einzelnen Eindrücke zu bestimmen, die gleichzeitig unsere Retina treffen, zu vernachlässigen pflegen. Dass einzelne Menschen wohl auch diese letztere Art zu zählen besonders cultivirt oder geübt haben mögen, hat bereits E. H. Weber vermuthet: „Sollte vielleicht das merkwürdige Vermögen des Rechners Dase, die Zahl vieler, neben einander befindlicher Dinge schnell zu bestimmen, darauf beruhen, dass der empfindliche Theil der Nervenhaut bei ihm grösser ist, als bei Andern? Eine solche Anlage könnte ihn wohl zu frühzeitigen Uebungen in seiner Kunst und im Rechnen veranlasst haben." (Art. Tastsinn Wagner's Handwörterbuch p. 535 Anm.) Wenn Dase nur einen Blick auf eine grosse Menge Dominosteine wirft und gleich nachher die Anzahl der Augen auf ihnen angiebt, so setzt das, abgesehen von rein geistigen Vorgängen, eine doppelte Fähigkeit voraus: erstens, die einzelnen Augen auf den Dominosteinen als distincte Punkte wahrzunehmen, und zweitens, die Dominosteine und die Augen auf ihnen mit unbewegter Retina zu zählen. Die erste

Fähigkeit würde nach der herrschenden Ansicht einem feineren Raumsinne eines grösseren Theiles der Retina zuzuschreiben sein. Zur Erklärung der zweiten Fähigkeit würde man eine besondere Uebung dieses Mannes, gleichzeitige Retinaleindrücke zu zählen, statuiren müssen. Diese Annahme würde an Wahrscheinlichkeit gewinnen, wenn es Jemandem gelänge, durch Uebung für seine Retina dieselbe Fähigkeit, wenn auch in geringem Grade, zu erwerben. Man könnte derartige Uebungen in folgender Weise anstellen: Man lege 5, 6, 7 u. s. w. Dominosteine auf einen Tisch im finstern Zimmer und beleuchte sie durch den elektrischen Funken. Man wird bald die Grenze finden, bis zu der man im Stande ist, die Zahl der Steine aufzufassen; nun füge man dieser Grenzzahl einen Stein hinzu, und wenn man auch den mit zählen gelernt hat, wieder einen und so fort; könnte man auf diese Art auch nur 3—4 Steine mehr zählen lernen, so würde jene Erklärung schon sehr viel wahrscheinlicher werden. Auch diese Annahme werde ich, so bald sich Gelegenheit dazu findet, experimentell zu prüfen und zu rechtfertigen suchen.

4) Die Dauer der peripherischen Nachbilder ist im Allgemeinen kürzer als die der centralen.

a. Bekannt ist, dass die Dauer der Nachbilder überhaupt sehr verschieden ist, was wohl grössten Theils auf dem Grade der Erregbarkeit oder Abstumpfung der Retina durch vorhergehende Einwirkungen beruht, wenn die äussern Umstände nahezu gleich bleiben. Ich habe mitunter, wenn ich die Quadrate eine halbe Minute lang auf meine Retina hatte einwirken lassen, anderthalb Minuten lang auch peripherische Nachbilder noch deutlich gesehen, oft waren aber auch nach einer halben Minute keine Nachbilder mehr zu bemerken. Solche wechselnde Resultate folgten einander oft unmittelbar, ohne dass Bewegungen stattgefunden oder in der Beleuchtung u. s. w. sich etwas Wesentliches geändert hätte.

b. Die Dauer der Nachbilder ist ferner abhängig von der Dauer des primären Eindrucks. Die kürzeste Zeit, in der das primäre Bild gewirkt haben musste, um überhaupt ein Nachbild in meinem Auge zu erzeugen, betrug 3 Schläge meiner Uhr = 2,5 Secunden;

das Nachbild dauerte dann ungefähr eben so lange, manchmal konnte ich aber nach dieser Dauer des primären Eindrucks gar kein Nachbild bemerken. Nach einer Einwirkung des Objects von 4 Secunden dauerte das Nachbild schon bis 8″; bei 6″ Einwirkung dauerte es bis gegen 10″ und hier konnte ich schon während der 5. bis 7. Secunde die Nachbilder sämmtlicher Quadrate sehen, während bei den kürzeren Fristen immer nur einige der mehr central gelegenen Nachbilder sichtbar wurden. Bei 15 Secunden Einwirkung verschwanden die Nachbilder einmal erst nach 26″, gewöhnlich aber schon nach 15″. Bei 30″ primärer Einwirkung bemerkte ich eine Differenz in der Dauer der Nachbilder von 35″—85″, und bei 60″ primären Eindrucks eine Dauer der Nachbilder von 50″—90″. Nach den angegebenen Zeiten für die Dauer der Nachbilder kehrten dieselben nicht mehr wieder. Die Ergebnisse bei längerer Einwirkung führe ich nicht erst an, weil ich nicht sicher bin, dass ich nach einer Minute noch ruhig fixirt und Bewegungen der Augenlieder vermieden habe. Wer derartige Versuche gewissenhaft angestellt hat, wird mir deswegen keine besondere Ungeschicklichkeit vorwerfen. Die Dauer der Nachbilder nimmt also ungefähr der Dauer des primären Eindrucks proportional zu, ist aber dabei doch vielen Schwankungen unterworfen.

In den folgenden Angaben werden hauptsächlich die Beobachtungen berücksichtigt werden, wo die primäre Einwirkung der Quadrate 30″ betragen hatte.

c. Zeit, zwischen dem Aufhören des primären Eindrucks und dem Wiederscheinen des Nachbildes. Hatte ich das mittelste Quadrat 30″ lang fixirt und schloss während 1″ das Auge, indem ich es auf den Halbkreis von schwarzem Sammet transportirte, so erschienen beim Schliessen des Auges sofort sämmtliche Nachbilder sehr lebhaft in der complementären Farbe. Richtete ich nun das Auge sogleich nach dem weissen Fixationspunkte auf dem schwarzen Sammet, so erschien zuerst nur das mittelste (fixirte) Quadrat und nahm schnell an Intensität zu. Gleich darauf erschienen die übrigen und zwar, wenn es langsam genug ging, um behalten zu werden, so, dass zuerst die beiden dem fixirten zunächst

gelegenen Quadrate, 2 *a* und 2 *i*, dann die diesen nächsten, 3 *a* und 3 *i*, erschienen. Während neue Quadrate, welche mehr peripherisch lagen, auftauchten, nahmen die schon erschienenen an Intensität immer mehr zu. Die kürzeste von mir gefundene Frist, in der alle Nachbilder sichtbar wurden, betrug 3 t, also 2,5″; in den meisten Beobachtungen erschienen sie zwischen 6 und 9 t, also nach 5″—7,″5, seltener später. So viel ich bemerkt und notirt habe, hat weder die Farbe der Quadrate, noch die Dauer des primären Eindrucks, noch die Bedeckung der mittleren Quadrate mit einem weissen Papiere einen Einfluss auf die Zeit, in der die peripherischen Quadrate anfangen zu erscheinen. In der folgenden Tabelle habe ich eine Anzahl Beobachtungen zusammengestellt, um die angedeuteten Verschiedenheiten besser übersehen zu lassen.

In der ersten Rubrik ist die Zahl des Schlages der Uhr angegeben, bei dem sämmtliche Nachbilder eben erschienen waren, t = $^5/_6$″. Die zweite Rubrik giebt an, wie oft es beobachtet worden ist. In den folgenden Rubriken ist für die einzelnen Beobachtungen angegeben, welche Farbe die Quadrate hatten, und zwar bedeutet B blau, S schwarz, R roth. Die davor stehende Zahl, mit fetten Buchstaben gedruckt, zeigt die Dauer des primären Eindrucks, in Secunden ausgedrükt, an; die kleinen mageren Zahlen hinter den Buchstaben bedeuten die Anzahl der mit weissem Papier bedeckten Quadrate.

Tabelle I.

Bis zum Erscheinen aller Nachbilder.	Wie oft beobachtet.	Einzelne Beobachtungen.					
		1	2	3	4	5	6
3 t	3	36 B	8 S	73 S			
4 t	1	36 S					
5 t	2	8 S	18 S				
6 t	6	? B	36 B_5	36 B_5	36 S	36 S	36 R
7 t	6	36 B	36 B	36 B	36 B	36 B_3	36 B_3
8 t	4	36 B_5	36 B_7	36 B_7	36 R		
9 t	6	36 B	36 B	36 B_3	36 S	73 S	36 R
10 t	2	36 B	36 R_3				
11 t	2	36 S	36 S				
12 t	4	36 B_3	73 B_5	36 S_3	36 S_3		
13 t	1	36 B_5					
15 t	1	36 R_3					

Da ich im schnellen Fixiren und Einrichten des Auges so wie in dem ruhigen Halten desselben ziemliche Uebung hatte, bevor ich anfing, die Resultate zu notiren, so kann ich nicht glauben, das die Unterschiede in der Zeit bis zum ersten Erscheinen aller Nachbilder auf diese Störungen allein geschoben werden müssen, sondern bin vielmehr der Ansicht, dass ebenso wie die Dauer der Nachbilder auch das frühere oder spätere Erscheinen derselben von besonderen Zuständen der Retina abhängig ist. Fechner, der nur die Nachbilder im Centrum der Netzhaut beobachtet zu haben scheint, erwähnt auch schon, „dass die Complementärfarbe öfters erst nach einiger Zeit mit dem Maximum ihrer Intensität erscheint, besonders wenn man das Nachbild (von Farben im verbreiteten Tageslichte) auf schwarzem Grunde oder im verschlossenen Auge anschaut." (Poggendorf's Ann. 50, p. 209.)

d. Verschwinden der Nachbilder. Erste Periode. Die Nachbilder bleiben nicht lange in voller Klarheit stehen, sondern fangen bald wieder an zu verschwinden, und zwar in sehr merkwürdiger Weise. Man sollte vermuthen, dass zuerst die

peripherischen, dann die centralen Nachbilder verschwinden, oder dass alle zugleich fortgehen. Dies letztere habe ich auch öfters beobachtet, aber ich glaube, dass dann jedesmal eine Bewegung des Auges oder der Augenlieder oder des Körpers stattgefunden hat, wenn sie mir auch nicht immer zum Bewusstsein gekommen ist. Bei ruhiger Fixation und unbewegten Augenliedern verschwinden die Nachbilder in ganz anderer Weise; es vergehen nämlich die Nachbilder einzelner Quadrate, während die übrigen bleiben. Meist verschwand zuerst das dem fixirten nächste Quadrat nach aussen ($2a$); es verlor seine scharfe Begrenzung, die Ecken verschwanden, es blieb noch 2—3 t ein runder matter Fleck und auch dieser verging schnell, indem er immer kleiner und blasser wurde. Ist das Quadrat fort, so bleibt die Stelle leer, während die übrigen Nachbilder unverändert beharren. Aber bevor das eine Quadrat ganz verschwunden ist, fängt meist schon ein zweites und drittes an zu verblassen und zu vergehen, z. B. $3i$ oder $4a$ u. s. w. Bei dieser zweiten Reihe ist aber der Vorgang schneller und bevor er beendet ist, pflegen auch noch mehrere andere Quadrate, oft die Mehrzahl, das Feld zu räumen. Da man bei ruhig gehaltenem Auge, wie oben bemerkt, kaum mehr als 4 Quadrate nach aussen und ebenso viel nach innen zählen kann; so ist eine detaillirte Beobachtung der übrigen nicht möglich. Ausserdem geht auch alles viel zu schnell, denn wenn das erste verschwindende Quadrat ein matter Fleck geworden ist, so sind binnen 3—4 Secunden oft schon sämmtliche Quadrate verschwunden oder wenigstens die meisten und das Gesichtsfeld ganz frei von Nachbildern. Berücksichtigt man endlich die Schwierigkeit gleichzeitig das Auge fixirt und accommodirt zu halten, Bewegungen der Augenlieder und des Körpers zu vermeiden und seine Aufmerksamkeit auf einen grossen Theil der Retina zu richten; so wird man billiger Weise keine genaueren Angaben, als die folgenden, verlangen können. In 22 Beobachtungen habe ich Folgendes in Bezug auf das Verschwinden einzelner Quadrate beobachten können. Ich bemerke dabei, dass ich nichts notirt habe, was nicht ganz evident und sicher war. Man kann bei Notizen namentlich über

subjective Versuche gewiss nicht kritisch und pedantisch genug sein; eine Notiz schwarz auf weiss ist ohnehin oft viel bestimmter, als die Erscheinung war. Ich habe es daher immer vorgezogen, lieber Manches unberücksichtigt zu lassen, als ein unsicheres Factum ins Protocoll aufzunehmen.

Es verschwanden in der beschriebenen Weise:
2*a* allein 7 Mal (3 Mal Blau, 3 Mal Schwarz, 1 Mal Roth),
2*i* allein 4 Mal (2 Mal Blau, 2 Mal Roth),
2*a* und 2*i* 5 Mal (1 Mal Blau, 4 Mal Schwarz),
2*i*, 2*a*, 3*a*, 4*a* 1 Mal (Roth),
2*i*, 3*a*, 4*a* 3 Mal (2 Mal Blau, 1 Mal Roth),
2*i* und 4*a* 1 Mal (Blau),
3*a* und 3*i* 1 Mal (Schwarz),
2*a* ist das Quadrat neben dem fixirten nach Aussen auf der Retina u. s. w. Die Farbenangabe bedeutet, dass die Nachbilder von den rothen, schwarzen oder blauen Quadraten gewonnen worden waren.

Das Verschwinden der einzelnen Nachbilder macht einen sonderbaren Eindruck; es hat einige Aehnlichkeit mit dem Verschwinden einer nassen Stelle auf einem erwärmten Bleche oder einer berussten Stelle auf einer erhitzten Porzellanplatte; aber auch ein eigenthümlicher psychischer Eindruck verbindet sich damit, den ich nur mit dem Gefühle, das man beim Ausfallen eines Zahnes im Traume hat, zu vergleichen weiss. Das gleichzeitige Stehenbleiben der übrigen Nachbilder, das Grundlose, das allmälige Geschehen des Vorganges, das gänzliche Ausgeschlossensein des Willens macht hier wie dort einen eigenen Eindruck auf das sogenannte Gemüth, der wohl die Veranlassung zu dem mit dem Traume verbundenen Aberglauben gegeben haben mag. In dem Traume, wie er bei mir verläuft, bleiben auch immer die übrigen Zähne ruhig stehen, nur einer oder einige fallen aus oder verschwinden vielmehr recht eigentlich.

Ueber die Zeit, welche bis zum Verschwinden aller Nachbilder, oder aller mit Ausnahme des centralen oder eines einzelnen peripherischen verfliesst oder *über die Dauer der ersten Periode* habe ich in 27 Versuchen genaue Beobachtungen machen können, wo

keine Bewegung der Augenlieder u. s. w. stattgefunden hatte, und der primäre Eindruck 30″ gedauert.

Sämmtliche Nachbilder waren verschwunden:

15 Mal nach 20 t oder nach 16 Sekunden,
 1 Mal nach 21 t,
 5 Mal nach 22 t,
 1 Mal nach 23 t, 3 Mal nach 25 t, 1 Mal nach 26 t,
 1 Mal nach 27 t oder nach etwa 21 Secunden, vom Anfange des Fixirens auf dem Sammetstreifen an gerechnet.

Bei Einwirkung der farbigen Quadrate binnen 1 Minute verschwanden die Nachbilder zum ersten Male nach etwa 20—24 Secunden, bei 15 Secunden primärer Einwirkung schon nach etwa 12″. Einigen Einfluss scheint also die Dauer des primären Eindrucks auch auf die Dauer der ersten Periode zu haben.

e. Perioden der Nachbilder. Nachdem die Nachbilder wieder sämmtlich, oder bis auf eins oder zwei verschwunden waren, oder die erste Periode beendigt, blieb das Gesichtsfeld einige Secunden lang leer. Dann erschienen aber wieder einige Nachbilder oder eine grosse Menge derselben, oder alle äusseren Nachbilder, oder auch alle mit einem Male binnen 2 Secunden. Sie waren stets blasser, als in der ersten Periode, und wenn sie auch mit der Zeit an Intensität zunahmen, so erreichten sie doch nie die Lebhaftigkeit der Färbung, wie sie in der ersten Periode war. Sie blieben in dieser Periode mehrere Secunden und vergingen dann ähnlich wie in der ersten Periode, aber schneller hinter einander und weniger vereinzelt, so dass es mir nicht möglich war, die einzelnen Nachbilder zu verfolgen. Ich habe indess für diese Periode in mehreren Versuchen wenigstens Anfang und Ende beobachtet und notirt, so wie, ob wenige oder viele Nachbilder die Periode begannen. Die folgende Tabelle enthält diese Angaben. Dieser zweiten Periode folgt oft eine dritte entweder so, dass das Gesichtsfeld wieder ganz leer wird oder dass einzelne Nachbilder permanent sind. Einige Male habe ich 5 Perioden beobachtet; die Nachbilder werden dann immer blasser; schon in der dritten Periode erscheinen nur die mehr central gelegenen

Quadrate, in der fünften sind nur noch 5—6 blasse Nachbilder zu bemerken. Auch die Anzahl der Perioden habe ich auf der folgenden Tabelle angeführt.

In der ersten Rubrik ist die Nummer des Versuchs nach dem Protocoll angegeben. Die Zahlen der 2. und 3. Columne zeigen die Zeit zwischen dem Ende der ersten und dem Beginn der zweiten Periode an und zwar in Schlägen der Uhr ($t = {}^5/_6{}''$); in der vierten Columne ist die Dauer der zweiten Periode nach demselben Zeitmaasse verzeichnet und in der letzten Columne ist die Anzahl der beobachteten Perioden notirt. Das Fragezeichen bedeutet, dass die Nachbilder so durcheinander verschwanden, dass weitere Perioden nach der zweiten nicht unterschieden werden konnten. Es verschwanden z. B. manchmal die sämmtlichen äussern Quadrate, oder einige der centralen u. s. w. während ein grosser Theil derselben noch bemerkbar war.

Tabelle II.

Nº. des Versuchs.	Beginn nach der ersten Periode		Dauer der zweiten Periode.	Zahl der Perioden.
	mit einzelnen Quadraten.	mit vielen Quadraten.		
11	—	10 t	15 t	3
16	4 t	—	?	3
17	5 t	—	5 t	?
18	—	3 t	7 t	3
34	3 t	—	5 t	3
45	5 t	—	13 t	5
50	—	3 t	4 t	2
55	—	6 t	4 t	5
56	6 t	—	4 t	5
57	6 t	—	10 t	?
59	5 t	—	5 t	3
60	6 t	—	9 t	?
62	4 t	—	10 t	—
63	10 t	—	6 t	—

Wie man aus dieser Tabelle sieht, ist die Zeit zwischen der ersten und zweiten Periode in den meisten Beobachtungen ziemlich

gleich, dagegen ist die Dauer der zweiten Periode bedeutenden Schwankungen unterworfen, viel mehr, als die erste.

f. Ursachen des Verschwindens der Nachbilder. Nach den angeführten Beobachtungen kann ich Fechner's Ansicht über die Ursache des Verschwindens der Nachbilder, die nach ihm in Bewegungen der Augen, Augenlieder, des Körpers liegen soll, nicht beitreten, muss vielmehr Plateau's frühere Angaben aufrecht halten. Ich führe Fechner's Angaben wörtlich an: (Poggendorf's Ann. Bd. 44. p. 525–526.)

„Was den allerdings wichtigen von Plateau geltend gemachten Umstand anlangt, dass das complementäre Nachbild einer Farbe, oder auch eines schwarzen oder weissen Flecks, während seiner Dauer im Auge, leicht mehrmals abwechselnd verschwinde und wieder hervortrete, so rührt er von einem, dem Wesen der Erscheinung ganz fremden, Nebenumstande her, auf den man sein Augenmerk bisher nicht gerichtet hat. Jede Bewegung des Auges oder der Augenlieder disponirt das Nachbild zum Verschwinden; ja selbst eine Bewegung des übrigen Körpers, überhaupt also Alles, wie es scheint, was die Gleichförmigkeit des Gefäss- und Nerveneinflusses auf das Auge stört. Man kann jedes nicht zu intensive Nachbild weisser oder schwarzer Objecte momentan zum Verschwinden bringen oder beträchtlich abschwächen, wenn man einen einzigen Schlag mit den Augenliedern über die Augen weg giebt, oder die Augen momentan rasch einwärts wendet, sei es mit oder ohne Kopfbewegung, oder lebhaft mit dem Kopfe nickt, übrigens sofort nach jeder dieser Bewegungen genau wieder die frühere Stelle fixirt. Ja selbst, wenn man, bei möglichst unverrückt gehaltenem Auge einen lebhaften Stoss mit den Armen oder einem Fusse nach abwärts oder seitwärts in die Luft thut, verschwindet oder schwächt sich im Augenblicke des Stosses das Nachbild, belebt sich aber dann in kurzer Zeit wieder bei fixirt gehaltenem Auge. Selbst auch sanfte Bewegungen des Auges, die oft unwillkürlich und unbewusst eintreten, und nur an der Bewegung des Nachbildes über das Gesichtsfeld erkannt werden, führen schon eine derartige Disposition zum Verschwinden des Nachbildes herbei.“

„Diese Disposition zum Verschwinden des Nachbildes durch körperliche Bewegungen zeigt sich am stärksten bei den hellen oder dunkeln Nachbildern, die nach Betrachtung von Schwarz auf Weiss oder von Weiss auf Schwarz, in verbreitetem Tageslichte entstehen, weniger (wie es mir wenigstens immer geschienen hat) bei denen, die nach Betrachtung farbiger Objecte entstehen, obgleich auch bei diesen der Einfluss davon wahrnehmbar ist."

„Je mehr es mir nun gelang, das Auge bei Betrachtung eines Nachbildes in vollkommener Ruhe und gleichförmiger Spannung zu erhalten, desto mehr habe ich die Erscheinung des abwechselnden Verschwindens und Wiederhervortretens der Nachbilder sich mindern sehen."

F e c h n e r muss indess doch selbst Erfahrungen gemacht haben, die zu seiner Erklärung nicht recht passen wollten, denn er fährt fort:

„Allerdings stelle ich nicht in Abrede, dass ich bei den Nachbildern, welche nach Betrachtung von Schwarz auf Weiss oder von Weiss auf Schwarz entstehen, auch bei g a n z r u h i g g e h a l t e n e m A u g e ein sichtliches Verschwinden und Wiederhervortreten des Bildes an derselben Stelle des Grundes öfters wahrgenommen habe: wer aber kann dafür stehen, dass nicht eine stärkere, zum Auge strömende, B l u t w e l l e die Erscheinung momentan zerstört habe? Ueberdies reicht, wenn das Auge erst eine gewisse Zeit in Spannung durch Fixiren derselben Stelle erhalten ist, dann auch öfters die k l e i n s t e, fast unmerkliche Bewegung des Augenliedes, ein unmerkliches Winken damit, schon hin, das Nachbild momentan zu zerstören, und solcher kleinen unwillkürlichen Veränderungen in oder am Auge glaubt man sich in der That bei den Fällen des unbeabsichtigten Verschwindens bewusst zu werden, obwohl ich hier die Möglichkeit einer Selbsttäuschung nicht läugne."

Zunächst muss ich F e c h n e r darin vollkommen beistimmen, dass durch Bewegungen irgend welcher Art die im verbreiteten Tageslichte gewonnenen complementären Nachbilder sofort verschwinden. Ich habe das ganz constant beobachtet und in meinem Protocoll findet sich sehr häufig bemerkt: „Bewegung der Augenlieder;

Alles fort"; damit ist dann der Versuch abgebrochen oder Alles weitere mit Fragezeichen gebrandmarkt. Nach meinen Erfahrungen findet kein Unterschied zwischen den von schwarzen, rothen und blauen Quadraten gewonnenen Nachbildern statt: sie verschwinden alle sofort bei den geringsten Bewegungen der Augenlieder. Bei meiner Vorrichtung können überhaupt nur diese Bewegungen in Betracht kommen, denn Bewegungen des Körpers und Kopfes konnten ohne sogleich aufzufallen, nicht stattfinden, und Augenbewegungen mussten, auch wenn sie noch so klein waren, doch wegen der Verschiebung der Nachbilder gegen den fixirten Punkt sogleich bemerkt werden. Uebrigens habe ich öfters absichtlich Augenbewegungen (nach Beendigung der notirten Versuche) gemacht und gefunden, dass langsame und kleine Augenbewegungen die Nachbilder nicht zum Verschwinden bringen, überhaupt keinen bemerkbaren Einfluss auf dieselben äussern.

Wenn ich aber einem Beobachter, wie Fechner, entgegentrete, so bedarf dies einer Rechtfertigung, und die finde ich in der veränderten Beobachtungsmethode. Fechner hat wohl immer nur 1 Quadrat oder einen farbigen Fleck fixirt und also auch immer nur ein Nachbild erzeugt.

Ich dagegen erzeugte immer eine grosse Menge Nachbilder, und ich konnte daher das Verschwinden einzelner Nachbilder und Stehenbleiben anderer verfolgen, was ich daher auch oben ausführlich beschrieben habe. Wenn aber in meinen Versuchen nur einzelne Quadrate verschwinden, andere bleiben, einige während des ganzen Wechsels permanent sind, so, scheint mir, kann man das auf Bewegungen der Augenlieder allein nicht schieben. Es freut mich, dass Fechner selbst auch noch andere Momente, stärkere Blutwellen, für mögliche Ursachen des Verschwindens der Nachbilder erklärt hat; leider bin ich nicht im Stande, einigermassen plausible Erklärungsgründe für dieses Phänomen beizubringen. — Ich glaubte die Accommodation beschuldigen zu müssen. Mein Auge hatte nach einer halben Minute Fixation und Accommodation auf 0,2 M. immer die Tendenz, sich für die

Ferne zu accommodiren, und ich musste sehr Achtung geben, um dies zu vermeiden. Ob indess die Accommodation irgend einen Einfluss auf das Kommen und Verschwinden der Nachbilder hat, ist mir sehr zweifelhaft geworden. Da ich eine gewisse Fertigkeit im Accommodiren, ohne Augen- oder Augenliederbewegungen auszuführen, habe, wovon sich meine Freunde vermittelst des Cramer'schen Accommodationsapparates oft überzeugt haben, so habe ich oft mein Auge von 0,2 M. für die Ferne, dann wieder auf 0,2 M., dann auf einen Coconfaden von 0,15 M. Entfernung, dann wieder auf 0,2 M. binnen 4—5 Secunden eingestellt, ohne die Nachbilder auch in der zweiten Periode zu verscheuchen. Mitunter schien es mir, als würden sie durch Accommodation von Fern auf Nah zum Erscheinen gebracht, aber andere Male erschienen sie darnach nicht.

Die Plateau'sche Oscillation ist offenbar keine Erklärung, sondern nur eine Annahme, die selbst erst zu erklären wäre.

Es ergiebt sich somit für die Ursache des Verschwindens der Nachbilder nur dies: 1) Kleine Bewegungen der Augenlieder, grössere Bewegungen der Augen, des Kopfes, des Körpers bringen die Nachbilder sofort zum Verschwinden (Fechner). 2) Die Nachbilder verschwinden allmälig, um wiederzukehren, ohne dass solche Bewegungen stattfinden. Ob dasselbe durch Veränderungen in den Umgebungen der Retina, oder durch Veränderungen dieser selbst veranlasst wird, und welcher Art diese Veränderungen sind, darüber wissen wir nichts.

Resultate.

1) Die perpiherischen Nachbilder, im verbreiteten Tageslichte erzeugt, erscheinen in derselben Farbe, wie die centralen.

2) Je mehr peripherisch die Nachbilder liegen, um so weniger intensiv sind sie.

3) Dies scheint darauf zu beruhen, dass der primäre Eindruck auf den peripherischen Regionen schwächer ist.

4) Die Dauer der Nachbilder überhaupt ist sehr verschieden und zum Theil von der Dauer des primären Eindrucks abhängig.

5) Zwischen dem Aufhören des primären Eindrucks und dem Erscheinen der peripherischen Nachbilder vergehen 3—7 Secunden.

6) Nachdem die Nachbilder erschienen sind, verschwinden sie einzeln, unregelmässig, nach einander, kehren dann aber wieder, um wieder zu verschwinden; dies kann sich noch 3 Mal wiederholen.

7) Bewegungen der Umgebungen des Auges oder des Körpers bringen die pheripherischen und centralen Nachbilder sofort zum Verschwinden.

8) Auch unabhängig von solchen Bewegungen verschwinden die Nachbilder, wofür keine Ursache bekannt ist.

Breslau, den 22. Januar 1858.